

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 10 月 28 日 (28.10.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/092793 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 6/20
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/004504
- (22) 国際出願日: 2004 年 3 月 30 日 (30.03.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-113414 2003 年 4 月 17 日 (17.04.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中島 和秀 (NAKAJIMA, Kazuhide) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市

緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 田嶋克介 (TAJIMA, Katsusuke) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 周 健 (ZHOU, Jian) [CN/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 三川 泉 (SANKAWA, Izumi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 保刈 和男 (HOGARI, Kazuo) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

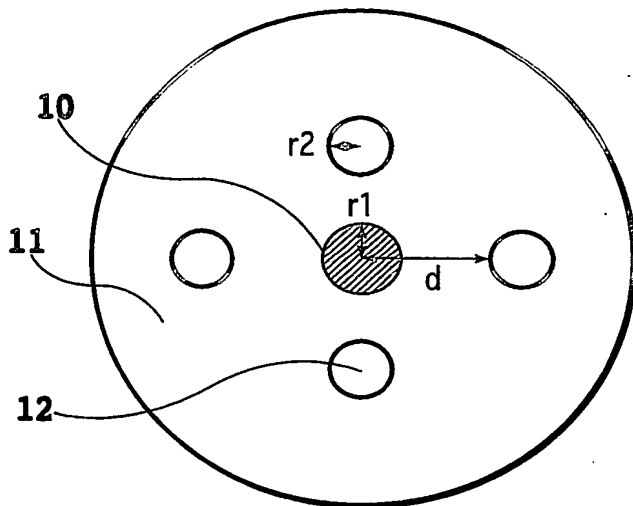
(74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6-20 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

/続葉有/

(54) Title: SINGLE MODE OPTICAL FIBER WITH ELECTRON VACANCIES

(54) 発明の名称: 空孔付き単一モード光ファイバ



(57) Abstract: The invention provides a single mode optical fiber suitable for high speed/large capacity optical communications and optical wiring. A single mode optical fiber comprises a first cladding whose refractive index is uniform, a core whose refractive index is higher than that of the first cladding, and a second cladding consisting of four or more electron vacancies disposed in the region of the first cladding. Optimization can be achieved when the distance from the center of the core to the electron vacancy is 2-4.5 times the core radius and the electron vacancy radius is 0.2 or more times the core radius. Further, it is preferable that the core radius be 3.2-4.8 μm , that the specific refractive index difference of the core with respect to the first cladding be 0.3-0.55%, and that the mode field diameter at a wavelength of 1310 nm be 7.9-10.2 μm . It is also preferable that the specific refractive

index difference be 0.12% or less and that the effective core radius from the center of the core to the outermost periphery of the electron vacancy be 23-28 μm .

(57) 要約: 高速/大容量の光通信、光配線に好適な単一モード光ファイバを提供する。単一モード光ファイバは屈折率が均一な第1クラッド部、それより高い屈折率を有するコア部、および第1クラッド部の領域内に配置された4個以上の空孔部からなる第2クラッド部を有する。コア部の中心から空孔部までの距離がコア半径の2~4.5倍、空孔半径がコア半径の0.2倍以上とすることで最適化できる。さらに、コア半径が3.2~4.8 μm 、コア部の第1クラッド部に対する比屈折率差が0.3~0.55%、波長1310nmにおけるモードフィールド径は7.9~10.2 μm であることが好ましい。比屈折率差が0.12%以下であって、コア部の中心から空孔部の最外周までの実効コア半径が23~28 μm であることも好ましい。



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書・説明書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

空孔付き単一モード光ファイバ

5 技術分野

本発明は、高速・大容量の光通信並びに光配線に好適な単一モード光ファイバに関し、特に空孔付き単一モード光ファイバに関する。

背景技術

- 10 光増幅技術を用いた長距離・大容量光通信では、単一モード光ファイバ中の光非線形現象による伝送特性の劣化が問題となる。

- 単一モード光ファイバにおける光非線形性は、非線形屈折率 n_2 を実効断面積 A_{eff} で除算した、非線形定数 n_2/A_{eff} に比例して変化する (G. P. Agrawal 著、「Nonlinear Fiber Optics (第2版)」、Academic Press 社、1995年発行、
15 特に (2. 3. 1 節、p. 42) 参照)。従って、単一モード光ファイバの実効断面積 A_{eff} を拡大することにより、単一モード光ファイバ中の非線形定数を低減し、長距離・大容量光通信における光非線形現象による伝送特性の劣化を低減することが可能となる。

- このため、従来の単一モード光ファイバでは、導波構造を形成する屈折率分布の設計・最適化において、実効断面積 A_{eff} を拡大する試みがなされており、
20 これまでに、1310 nm から 1625 nm 程度の動作波長領域において約 $70 \mu m^2$ から $150 \mu m^2$ 程度の実効断面積 A_{eff} を有する単一モード光ファイバの特性が開示されている (例えば、特開平9-274118号公報 (請求項6)、特開平11-218632号公報 (請求項1)、特開2001-3364
25 7号公報 (請求項1、代表図の Fig. 1)、特開2001-147338号公

報(請求項13、段落[0022])を参照)。

一方、従来の1.3 μm 帯零分散単一モード光ファイバは、屈折率の高いコア部と、コア部に比べ屈折率の低いクラッド部の2層からなる簡単な構造により実現可能であり、波長1550 nm付近において約80 μm^2 程度の比較的大きな実効断面積 A_{eff} を有していることから、良好な接続・施工特性が実現可能であり、そのためこれまで光通信や光配線などの分野で広く利用されている。

しかし、上述のように屈折率分布の設計・最適化において実効断面積 A_{eff} の拡大を行うと、一般に単一モード光ファイバ(SMF)の断面の半径方向における屈折率分布が複雑化すると同時に、実効断面積 A_{eff} を拡大したSMFでは、光ファイバ中を伝搬する光のコア内部への閉じ込めが低下し、曲げ損失特性が劣化する。そのため、実際に実現可能な実効断面積 A_{eff} の値は、許容可能な曲げ損失特性が確保できる領域まで、例えば、曲げ半径10 mmにおける曲げ損失が10 dB/mから100 dB/m以下の領域に制限されるという、課題があった。

また、実効断面積 A_{eff} が拡大されたSMFでは、一般に基本(LP11)モードの理論遮断波長も長波長側にシフトする傾向にあり、実効的な動作波長領域も、例えば1400 nm以上の長波長側に制限されるといった、課題もあった(例えば、特開2001-147338号公報(請求項13、段落[0022])を参照)。

更に、従来のSMFは、その構造がシンプル、かつ比較的大きな実効断面積 A_{eff} を有する反面、その適応領域は曲げ損失特性の劣化により、比較的大きな曲げ半径の領域、例えば曲げ半径20 mmから30 mm程度の領域に制限されるため、実際の光伝送路や光配線では配線場所や収納スペースが、許容可能な曲げ半径に応じて制限され、コンパクト化できないという、点があった。このため、従来のSMFの曲げ損失特性の改善を目的として、モードフィールド径

(MFD) の低減を図ったタイプのSMFも開発されているが、このタイプのSMFはMFDの低減により接続損失等の取り扱い特性が低下するといった、課題があった。

5 発明の開示

本発明は、上記のような課題に鑑みてなされたもので、その目的は、1260 nmから1625 nmの動作波長領域において、 $150 \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} を有し、かつ曲げ半径10 mmで1 dB/m以下の曲げ損失特性を有する空孔付き単一モード光ファイバと、並びに曲げ半径10 mmにおける曲げ損失が1 dB/m以下で、かつ波長1310 nmにおけるモードフィールド径が、従来の1.3 μm 帯零分散単一モード光ファイバ(SMF)と同等の、7.9 μm から10.2 μm (ITU-T、勧告G. 652 (2000年10月改版) (Table 1/G.652、p.6)参照) となる、空孔付き単一モード光ファイバを提供することにある。

15 本発明の空孔付き単一モード光ファイバは、屈折率が均一な第1クラッド部(11)と、第1クラッド部よりも屈折率の高いコア部(10)と、コア部の外周にあって第1クラッド部の領域に配置された複数の空孔部(12)により形成される第2クラッド部とを備え、空孔部の半径 r_2 、コア部の中心からの空孔部の距離 d を最適化することにより、さらにはこれに加えてコア部の第1
20 クラッド部に対する比屈折率差 Δ とコア半径 r_1 も最適化することにより、上記課題を解決する。

詳細には、上記目的を達成するため、本発明は、屈折率が均一な第1クラッド部(11)と、第1クラッド部(11)よりも高い屈折率を有し、第1クラッド部(11)の中央に配置された半径 r_1 のコア部(10)と、コア部(10)の中心から距離 d だけ離れた位置で第1クラッド部(11)の領域内に配
25

置された少なくとも4個以上の半径 r_2 の空孔部 (12) により形成される第2クラッド部とを有する単一モード光ファイバであって、上記距離 d がコア部 (10) の半径 r_1 の2.0倍から4.5倍の大きさであって、かつ空孔部 (12) の半径 r_2 がコア部の半径 r_1 の0.2倍以上であることを特徴とする。

- 5 また、コア部 (10) の上記半径 r_1 が $3.2\ \mu\text{m}$ から $4.8\ \mu\text{m}$ であり、コア部 (10) の第1クラッド部 (11) に対する比屈折率差 Δ が0.3%から0.55%の領域内であることを特徴とすることができる。

また、波長 $1310\ \text{nm}$ におけるモードフィールド径が $7.9\ \mu\text{m}$ から $10.2\ \mu\text{m}$ であることを特徴とすることができる。

- 10 また、コア部 (10) の第1クラッド部 (11) に対する比屈折率差 Δ が0.12%以下であって、かつコア部 (10) の中心から空孔部 (12) の最外周までの実効コア半径 A が $23\ \mu\text{m}$ から $28\ \mu\text{m}$ の範囲内であることを特徴とすることができる。

- 本発明によれば、従来の単一モード光ファイバと同様の屈折率変化を伴うコア部と第1クラッド部に加え、少なくとも4個以上の空孔部により形成される第2クラッド部を第1クラッド部内に配置し、コア半径 r_1 、コア部の比屈折率差 Δ 、空孔半径 r_2 、並びに空孔部の位置 d を最適化することで、一例として、
15 $1500\ \text{nm}$ 以下の基本 (LP11) モードの理論遮断波長、 $1260\ \text{nm}$ から $1625\ \text{nm}$ の動作波長領域において、曲げ半径 $10\ \text{mm}$ における $1\ \text{dB}/\text{m}$ 以下の曲げ損失と、 $150\ \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} の全ての特性を満たすことを可能とし、広範な単一モード動作領域における光非線形性の低減が得られるという顕著な効果を奏する。

- また、本発明によれば、上記と同様の構造を有する単一モード光ファイバにおいて、 $1500\ \text{nm}$ 以下の基本 (LP11) モードの理論遮断波長と、 $1260\ \text{nm}$ から $1625\ \text{nm}$ の動作波長領域において、曲げ半径 $10\ \text{mm}$ にお
25

る 1 dB/m 以下の曲げ損失とを満足し、高い曲げ損失耐性を実現すると同時に、波長 1310 nm における従来の SMF と同等の MFD 特性を保持し、かつ波長 1625 nm においても従来の SMF に対する MFD の変化を $\pm 10\%$ 以下とすることが可能となるため、従来の SMF との良好な接続特性も実現する
5 という効果も奏する。

更に、本発明の単一モード光ファイバは、所定の屈折率分布を有する単一モード光ファイバに対して多数の空孔部を付与した構造なので、従来のものよりも比較的容易に作製が行える。

10 図面の簡単な説明

Figs. 1A~1C は本発明の実施形態における単一モード光ファイバの断面構造を示し、それぞれ Fig. 1A は空孔数 4 の例、Fig. 1B は空孔数 6 の例、Fig. 1C は空孔数 8 の例を示す概略断面図である。

Fig. 2 は従来の $1.3 \mu\text{m}$ 帯零分散単一モード光ファイバにおける、零分散波長、遮断波長、並びに曲げ損失特性の要求条件により決定される、比屈折率差 Δ とコア半径 r_1 の関係を表す特性図である。
15

Figs. 3A~3C は本発明の実施の形態における空孔付き単一モード光ファイバの規格化空孔位置 d/r_1 と曲げ損失の関係を表し、Fig. 3A は空孔数 4 の例、Fig. 3B は空孔数 6 の例、Fig. 3C は空孔数 8 の例を示す特性図である。
20

Fig. 4 は本発明の第 1 の実施の形態における空孔付き単一モード光ファイバの、規格化空孔位置 d/r_1 と基本 (LP11) モードの理論遮断波長の関係を表す特性図である。

Fig. 5 は本発明の第 1 の実施の形態における空孔付き単一モード光ファイバの、波長 1310 nm における、規格化空孔位置 d/r_1 に対する、MFD
25

Dの変化を表す特性図である。

Fig. 6は本発明の第1の実施の形態における空孔付き単一モード光ファイバの、波長1625nmにおける、規格化空孔位置 d/r_1 に対する、従来のSMFを基準にしたときのMFDの相対変化、並びにMFDの不整合に起因する接続損失の関係を表す特性図である。

Fig. 7は本発明の第1の実施の形態に基づいて試作した、6個の空孔を有する空孔付き単一モード光ファイバにおける、曲げ損失の波長特性の測定結果を表す特性図である。

Fig. 8は本発明の第2の実施形態における空孔付き単一モード光ファイバの、コア部の比屈折率差 Δ と実効コア半径 A の関係を表す特性図である。

Fig. 9は本発明の第2の実施形態における空孔付き単一モード光ファイバの、コア部の比屈折率差 Δ と実効断面積 A_{eff} の関係を表す特性図である。

Fig. 10は本発明の第2の実施形態における空孔付き単一モード光ファイバの、コア部の比屈折率差 Δ と基本(LP11)モードの理論遮断波長の関係を表す特性図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に図面を参照して本発明を実施するための好ましい形態を詳細に説明する。

第1の実施形態

Figs. 1A-1Cはそれぞれ本発明の空孔付き単一モード光ファイバの実施の形態の構成例を示す断面図である。Fig. 1Aは空孔数4個の場合の、Fig. 1Bは空孔数6個の場合の、Fig. 1Cは空孔数8個の場合の断面図を示す。

本発明の単一モード光ファイバは、半径 r_1 のコア部10と、その周囲の屈

折率が均一な第1クラッド部11と、コア部10の中心から距離 d だけ離れた位置に配置された少なくとも4個以上の半径 r_2 の空孔部12からなる第2クラッド部とにより構成される。これら空孔部12は、それぞれ光ファイバの長手方向に沿って形成され、かつ光ファイバの断面において一定間隔をおいて一様5 様に分散配置され、光ファイバの長手方向に沿ってその平均的な直径が実質的に一定値であるものとする。

コア部10の屈折率 n_1 は、従来の単一モード光ファイバと同様に、第1クラッド部11の屈折率 n_2 よりも高くなるように、添加材料とその添加量により調整されており、コア部10と第1クラッド部11により主たる光の導波構造10 が形成されている。また、コア部10の屈折率分布は従来の単一モード光ファイバ同様に、任意の形状の屈折率分布を用いることが可能である。

本発明の実施の形態では、第1クラッド部11の屈折率を純石英レベルとし、第2クラッド部の屈折率を1（空気）とし、コア部10がゲルマニウム添加により形成されるステップ型屈折率分布を有する時の、空孔付き単一モード光ファイバ15 の特性について説明する。尚、第1クラッド部11の屈折率をフッ素等の添加により、純石英の屈折率よりも低くし、コア部10の屈折率を純石英と同等、もしくはそれ以下の屈折率として設計することも可能である。

始めに、本発明の第1の実施の形態では、コア部10の半径（以下、コア半径と称する） r_1 、及びコア部10の第1クラッド部11に対する比屈折率差20 Δ が、それぞれ従来の $1.3\mu\text{m}$ 帯零分散単一モード光ファイバ（SMF）の特性を満たす範囲内で設計された場合について以下に説明する。

Fig. 2は従来のSMFにおいて、零分散波長、遮断波長、並びに曲げ損失特性の要求条件（ITU-T、勧告G.652（2000年10月改版）（Table 1/G.652、p.6）参照）により決定される、比屈折率差 Δ とコア半径 r_1 の関係25 （設計領域）を表す図である。設計領域は図中にドットで表示した領域である。

尚、比屈折率差 Δ （単位：％）はコア部10の屈折率 n_1 、並びにクラッド部（本発明の構造では第1クラッド部11）の屈折率 n_2 を用いて、次式（1）により定義した。

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \times 100 \quad (1)$$

5 Fig. 2からコア部10の半径 r_1 を約 $3.2 \mu\text{m}$ から $4.8 \mu\text{m}$ 、比屈折率差 Δ を約 0.3% から 0.55% の範囲で設計することにより、従来のSMFにおける要求条件を満足することが可能となる。

10 Figs. 3A-3Cは規格化空孔位置 d/r_1 と、波長 1625 nm における曲げ半径 10 mm の時の曲げ損失特性の関係を、空孔部12の半径（以下、空孔半径と称する） r_2 をパラメータとして表す図である。尚、Figs. 3A-3Cの実例では、Fig. 2に示した関係から、比屈折率差 Δ を 0.32% 、 r_1 を $4.5 \mu\text{m}$ とした。

15 ここで、Fig. 3Aは空孔部12の数（以下、空孔数と称する）が4個の場合、Fig. 3Bは空孔数が6個の場合、Fig. 3Cは空孔数が8個の場合のそれぞれの特性例を表す。

20 一般に、単一モード光ファイバのモードフィールド径（MFD）は長波長側ほど拡大し、これに伴い長波長側の曲げ損失特性も劣化する傾向にある。従って、Figs. 3A-3Cに示すように、空孔数が4個、6個、もしくは8個の空孔付き単一モード光ファイバにおいて、空孔半径 r_2 をコア半径 r_1 の約 0.2 倍以上、空孔位置 d をコア半径 r_1 の約 4.5 倍以下の領域で設計することにより、波長 1625 nm 以下の領域における、曲げ半径 10 mm での曲げ損失特性を 1 dB/m 以下とすることが可能となる。

Fig. 4は空孔数8個、空孔半径 r_2 がコア半径 r_1 の 0.4 倍の空孔付き単一モード光ファイバにおける、規格化空孔位置 d/r_1 と基本（LP11）

モードの理論遮断波長の関係を表す図である。前述した比屈折率差 Δ が0.32%、コア半径 r_1 が4.5 μm の従来のSMFにおける基本(LP11)モードの理論遮断波長は約1450nmであるが、Fig. 4に示すように、本発明の空孔付き単一モード光ファイバにおいても、従来のSMFと同等か、それより低い値の遮断波長特性を得ることができる。

Fig. 5は、空孔数等がFig. 4と同一条件の空孔付き単一モード光ファイバで、波長1310nmにおける、規格化空孔位置 d/r_1 に対する、MFD（モードフィールド径）の変化を表す図である。Fig. 5に示すように、規格化空孔位置 d/r_1 を約1.5以上の領域で設計することにより、従来のSMFと同等の、約7.9 μm から10.2 μm のMFD特性を得ることが可能となる。

また、Fig. 6は波長1625nmにおける、規格化空孔位置 d/r_1 に対する、従来のSMFにおけるMFDを基準とした時の、空孔付き単一モード光ファイバにおけるMFDの相対変化、並びにMFDの不整合に起因する接続損失の特性を表す図である。ここで、実線の曲線はMFDの相対変化の特性を表わし、破線の曲線はMFD不整合損失の特性を表わしている。Fig. 6に示すように、規格化空孔位置 d/r_1 を2.0以上の領域で設計することにより、空孔部12の付与に伴う従来のSMFに対する波長1625nmにおけるMFDの変化を $\pm 10\%$ 以下とし、MFDの不整合に起因する接続損失を1dB未満とすることが可能となる。

従って、以上説明した、Fig. 2、Figs. 3A-3C、Fig. 4、Fig. 5、並びにFig. 6に示したように、少なくとも4個以上の空孔部12を有する本発明の空孔付き単一モード光ファイバにおいて、空孔部12の位置 d をコア半径 r_1 の2.0倍から4.5倍、空孔部12の半径 r_2 をコア半径 r_1 の0.2倍以上とし、コア部10の比屈折率差 Δ を約0.3%から0.

5.5%、コア半径 r_1 を約 $3.2\mu\text{m}$ から $4.8\mu\text{m}$ の領域で設計することにより、基本(LP11)モードの理論遮断波長を 1500nm 以下とし、 1260nm から 1625nm の動作波長領域における曲げ半径 10mm での曲げ損失特性を 1dB/m 以下とし、かつ波長 1310nm におけるMFDを、従来のSMFと同等の約 $7.9\mu\text{m}$ から $10.2\mu\text{m}$ とし、更に動作波長の上限 1625nm においても、従来のSMFに対するMFDの相対変化を $\pm 10\%$ 以下とする特性を得ることが可能となる。

Fig. 7は上述した本発明の実施の形態に基づき試作した、6個の空孔部12を有する2種類の空孔付き単一モード光ファイバにおける、曲げ損失の波長特性の測定結果を、従来のSMFとの比較により表す図である。ここで、曲げ損失の測定条件は、曲げ半径 10mm 、20回巻きつけとしている。黒丸は従来のSMFの特性を表わし、X丸は本発明による空孔付きSMFの特性を表わしている。試作した空孔付き単一モード光ファイバの測定波長領域における曲げ損失は、測定限界の 0.01dB/m 以下であり、特に長波長側において、従来のSMFに比べ2桁以上の曲げ損失低減効果が得られている。

第2の実施の形態

次に、本発明の第2の実施の形態として、コア部10の比屈折率差 Δ とコア半径の最適化を行い、実効断面積 A_{eff} の拡大を図った例について説明する。

Fig. 8は曲げ半径 10mm における曲げ損失が 1dB/m 以下となる、コア部10の第1クラッド部11に対する比屈折率差 Δ と実効コア半径 A の関係を表す図である。ここで、実効コア半径 A はコア部10の中心から第2クラッド部の最外周、即ち、 $A = d + 2 \times r_2$ として定義する(Figs. 1A~1Cを参照)。尚、1例として、第2クラッド部を形成する空孔部12の数は6個、空孔半径 r_2 はコア半径 r_1 の0.3倍、空孔位置 d はコア半径 r_1 の3倍とした。

Fig. 8から、波長1260nmでの比屈折率差 Δ と実効コア半径Aの関係を用いて設計することにより、波長1260nmから1625nmの動作波長範囲で、曲げ半径が10mmの時の曲げ損失を1dB/m以下にできることが分かる。

5 Fig. 9は、Fig. 8の波長1260nmにおける比屈折率差 Δ と実効コア半径Aの関係を用いた時の、波長1260nm、1550nm及び1625nmにおける、コア部10の比屈折率差 Δ と実効断面積 A_{eff} の関係を表す図である。

また、Fig. 10は、Fig. 8の波長1260nmにおける比屈折率差
10 Δ と実効コア半径Aの関係を用いた時の、コア部10の比屈折率差 Δ と基本(LP11)モードの理論遮断波長の関係を示す図である。

従って、Fig. 8、Fig. 9、及びFig. 10に示したように、本発明の第2の実施の形態では、コア部10の中心からの距離 $d = 3 \times r_1$ の位置に、半径 $r_2 = 0.3 \times r_1$ の6個の空孔部12を有する単一モード光ファイ
15 バにおいて、コア部10の比屈折率差 Δ を約0.12%以下、実効コア半径Aを約23 μ mから28 μ mの領域で設計することにより、基本(LP11)モードの理論遮断波長を1100nm以下とし、波長1260nmから1625nmにおける実効断面積 A_{eff} が150 μ m²以上で、かつ曲げ半径10mmにおける曲げ損失が1dB/m以下の特性を実現することが可能となる。

20 他の実施形態

なお、本発明の好適な実施形態を例示して説明したが、本発明の実施形態は上記例示に限定されるものではなく、各特許請求の範囲に記載の範囲内であれば、その構成部材等の置換、変更、修正、追加、個数の増減、形状の変更等の各種変形は、全て本発明の実施形態に含まれる。例えば、上述した本発明に係
25 わる空孔部12の個数、光ファイバの材質等は上述した実施形態に限らない。

光ファイバは、必ずしもガラスに限らず、プラスチック、その他使用する波長において透明な媒質を材料として形成されているものであればよい。また、空孔部 1 2 は円形が好適であるが、円形に極めて近い楕円形や多角形にも応用可能である。また、空孔部 1 2 の中は真空に限らず、例えば使用する波長において透明かつ第 1 クラッド部 1 1 よりも屈折率の低い気体、液体ないし固体で満たされていてもよい。

請 求 の 範 囲

1. 屈折率が均一な第1クラッド部と、前記第1クラッド部よりも高い屈折率を有し、第1クラッド部の中央に配置された半径 r_1 のコア部と、前記コア部の中心から距離 d だけ離れた位置で前記第1クラッド部領域内に配置された少なくとも4個以上の半径 r_2 の空孔部により形成される第2クラッド部とを有する単一モード光ファイバであって、
前記距離 d が前記コア部の前記半径 r_1 の2.0倍から4.5倍の大きさであって、かつ前記空孔部の前記半径 r_2 が前記コア部の前記半径 r_1 の0.2倍以上であることを特徴とする、空孔付き単一モード光ファイバ。
2. 前記コア部の前記半径 r_1 が $3.2\ \mu\text{m}$ から $4.8\ \mu\text{m}$ であり、前記コア部の前記第1クラッド部に対する比屈折率差 Δ が0.3%から0.55%の領域内であることを特徴とする、請求項1に記載の空孔付き単一モード光ファイバ。
3. 波長 $1310\ \text{nm}$ におけるモードフィールド径が $7.9\ \mu\text{m}$ から $10.2\ \mu\text{m}$ であることを特徴とする、請求項2に記載の空孔付き単一モード光ファイバ。
4. 前記コア部の前記第1クラッド部に対する比屈折率差 Δ が0.12%以下であって、かつ前記コア部の中心から前記空孔部の最外周までの実効コア半径 A が $23\ \mu\text{m}$ から $28\ \mu\text{m}$ の範囲内であることを特徴とする、請求項1に記載の空孔付き単一モード光ファイバ。

補正書の請求の範囲

[2004年8月23日(23.08.04)国際事務局受理 : 出願当初の請求の範囲

1及び4は補正された; 出願当初の請求の範囲3は取り下げられた。

他の請求の範囲は変更なし。(2頁)]

1. (補正後) 屈折率が均一な第1クラッド部と、前記第1クラッド部よりも高い屈折率を有し、第1クラッド部の中央に配置された半径 r_1 のコア部と、

5 前記コア部の中心から距離 d だけ離れた位置で前記第1クラッド部領域内に配置された少なくとも4個以上の半径 r_2 の空孔部により形成される第2クラッド部とを有する単一モード光ファイバであって、

前記距離 d が前記コア部の前記半径 r_1 の2.0倍から4.5倍の大きさであり、前記空孔部の前記半径 r_2 が前記コア部の前記半径 r_1 の0.2倍以上
10 であり、ITU-T、勧告G.652に準拠する1300nmから1324nmにおける零分散波長特性と、曲げ半径10mmにおける1dB/m以下の曲げ損失特性を有し、かつ前記空孔部の付与によるモードフィールド径の変化が $\pm 10\%$ 以下であることを特徴とする、空孔付き単一モード光ファイバ。

2. 前記コア部の前記半径 r_1 が3.2 μm から4.8 μm であり、前記コア部の前記第1クラッド部に対する比屈折率差 Δ が0.3%から0.55%の
15 領域内であることを特徴とする、請求項1に記載の空孔付き単一モード光ファイバ。

3. (削除)

4. (補正後) 屈折率が均一な第1クラッド部と、前記第1クラッド部よりも高い屈折率を有し、第1クラッド部の中央に配置された半径 r_1 のコア部と、
20 前記コア部の中心から距離 d だけ離れた位置で前記第1クラッド部領域内に配置された少なくとも4個以上の半径 r_2 の空孔部により形成される第2クラッド部とを有する単一モード光ファイバであって、

前記コア部の前記第1クラッド部に対する比屈折率差 Δ が0.05%から0.12%の範囲内であって、かつ前記コア部の中心から前記空孔部の最外周まで
25

補正された用紙 (条約第19条)

の実効コア半径Aが $23\mu\text{m}$ から $28\mu\text{m}$ の範囲内であり、かつ 1100nm 以下の理論遮断波長特性、曲げ半径 10mm における $1\text{dB}/\text{m}$ 以下の曲げ損失、並びに波長 1260nm から 1625nm における $150\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積特性を有することを特徴とする、空孔付き単一モード光ファイバ。

条約第19条(1)に基づく説明書

請求の範囲第1項は、請求の範囲第3項の内容を組み込み、さらにITU-T、勧告G. 652に準拠する1300nmから1324nmにおける零分散
5 波長特性（明細書7頁参照）、曲げ損失条件、並びにモードフィールド径条件を追加して、文献1～6との差異をさらに明確にした。

すなわち、文献1，2では、請求の範囲第1項に記載のモードフィールド径の条件を満たす設計条件に関する記載はない。文献1～5では、請求の範囲第1項に記載の零分散波長条件に関する記述はない。文献6では1300nm以
10 下の波長領域での異常（正の）分散を実現することを目的としている。

請求の範囲第4項は、比屈折率差の下限（図8参照）、理論遮断波長特性、曲げ損失、並びに実効断面積特性を追加して、文献1～6との差異をさらに明確にした。

15 すなわち、請求の範囲第4項に記載の本発明のコア部は第1クラッド部よりも高い屈折率を有することを前提としている。文献6では実効断面積に関する記述はない。

1/10

FIG.1A

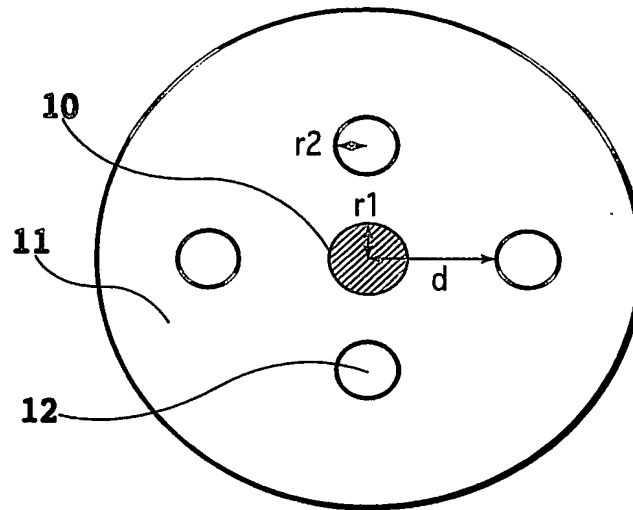


FIG.1B

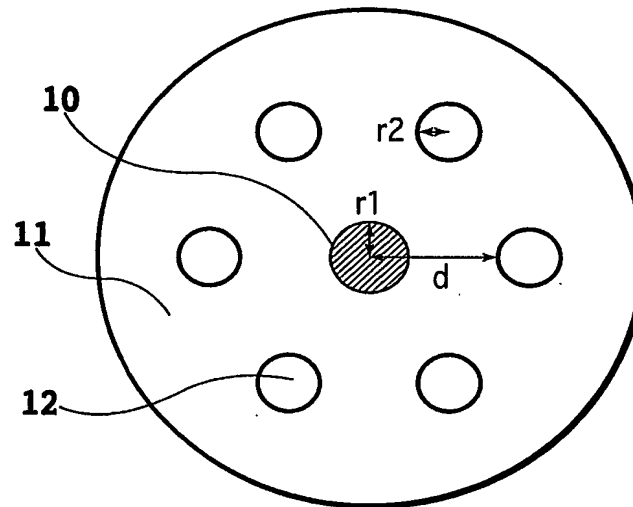
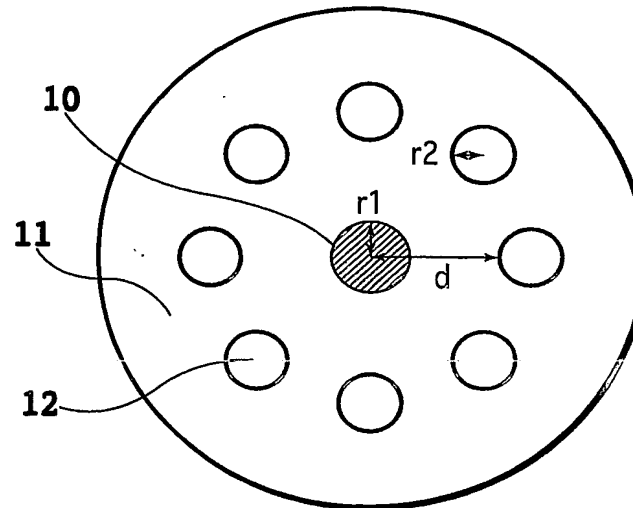


FIG.1C



2/10

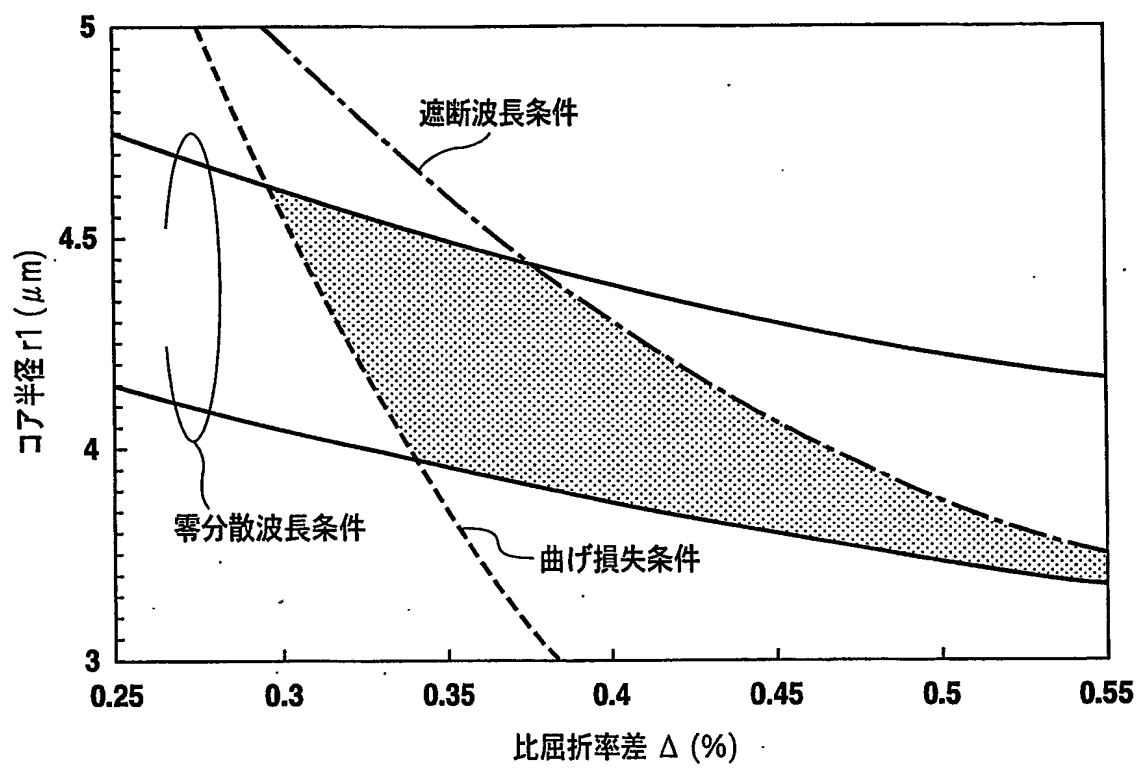
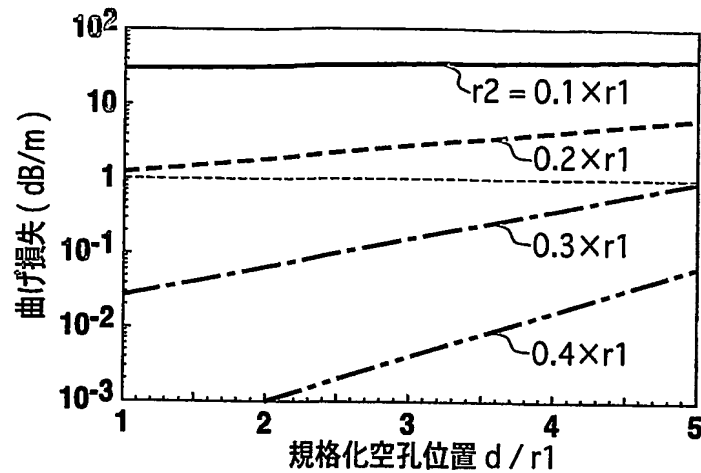


FIG.2

従来技術

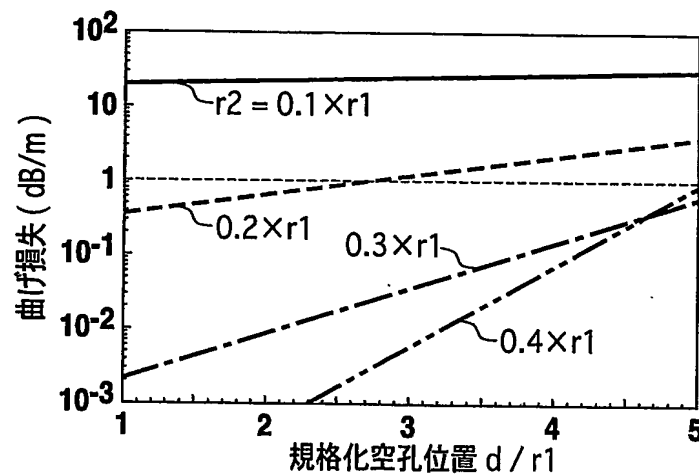
3/10

FIG.3A



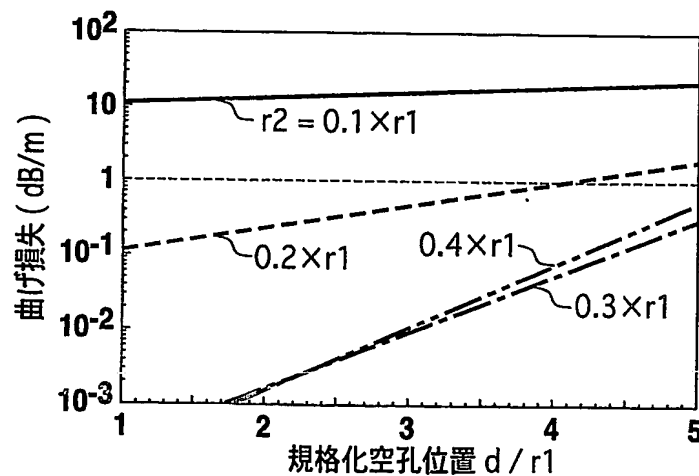
$\lambda = 1625 \text{ nm}$
曲げ半径: 10 mm
 $r_1 = 4.5 \mu\text{m}$
 $\Delta = 0.32 \%$
空孔数: 4個

FIG.3B



$\lambda = 1625 \text{ nm}$
曲げ半径: 10 mm
 $r_1 = 4.5 \mu\text{m}$
 $\Delta = 0.32 \%$
空孔数: 6個

FIG.3C



$\lambda = 1625 \text{ nm}$
曲げ半径: 10 mm
 $r_1 = 4.5 \mu\text{m}$
 $\Delta = 0.32 \%$
空孔数: 8個

4/10

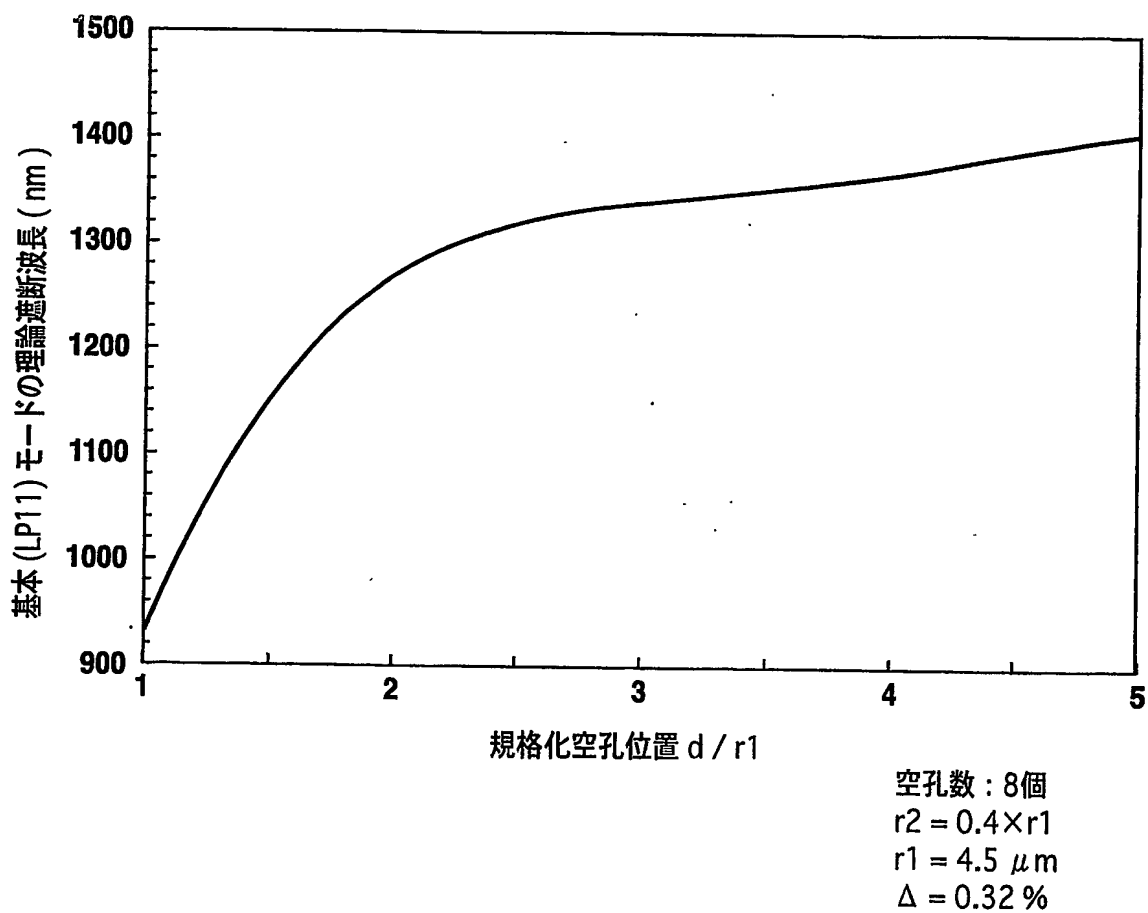


FIG.4

5/10

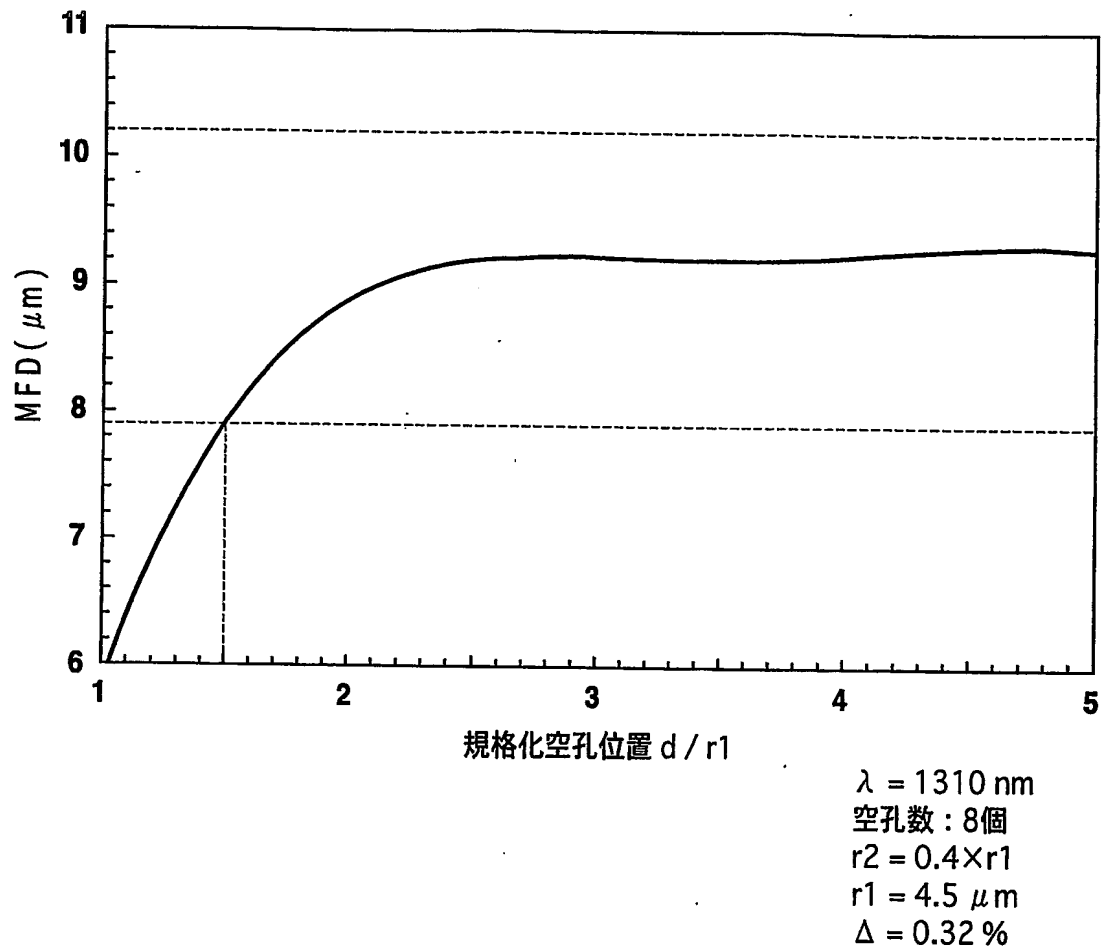
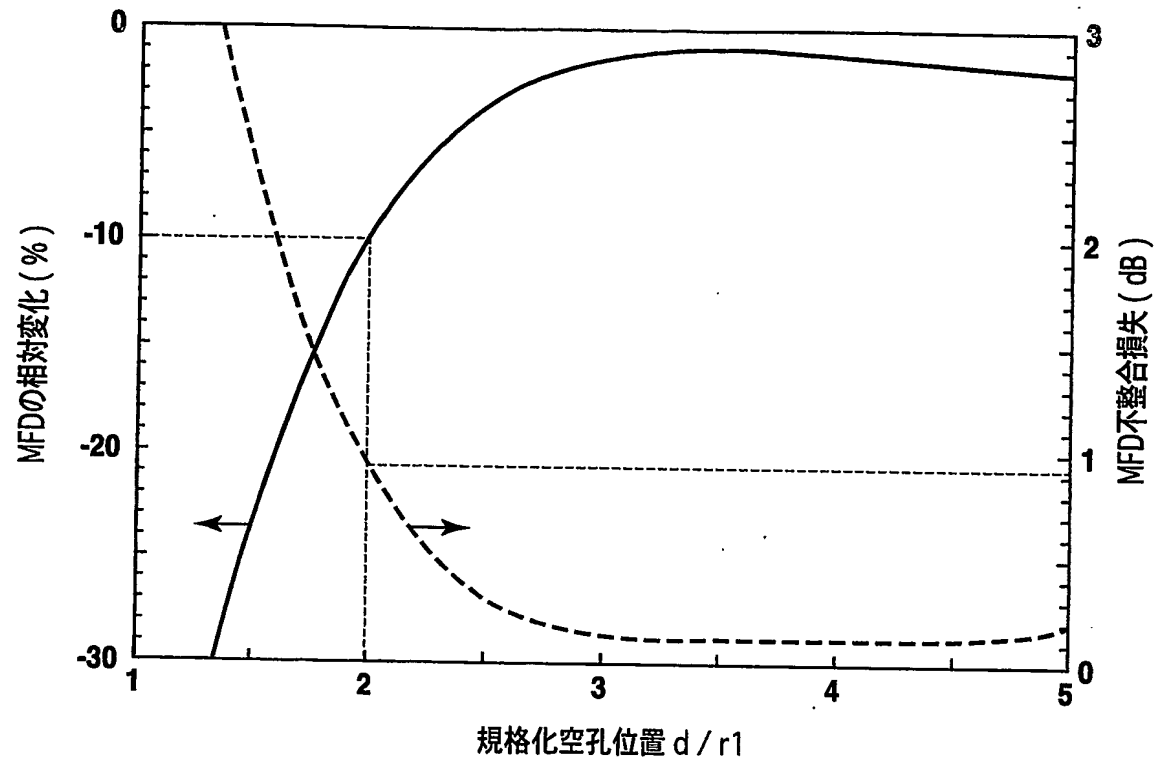


FIG.5

6/10



$\lambda = 1625 \text{ nm}$
空孔数 : 8個
 $r_2 = 0.4 \times r_1$
 $r_1 = 4.5 \mu\text{m}$
 $\Delta = 0.32 \%$

FIG.6

7/10

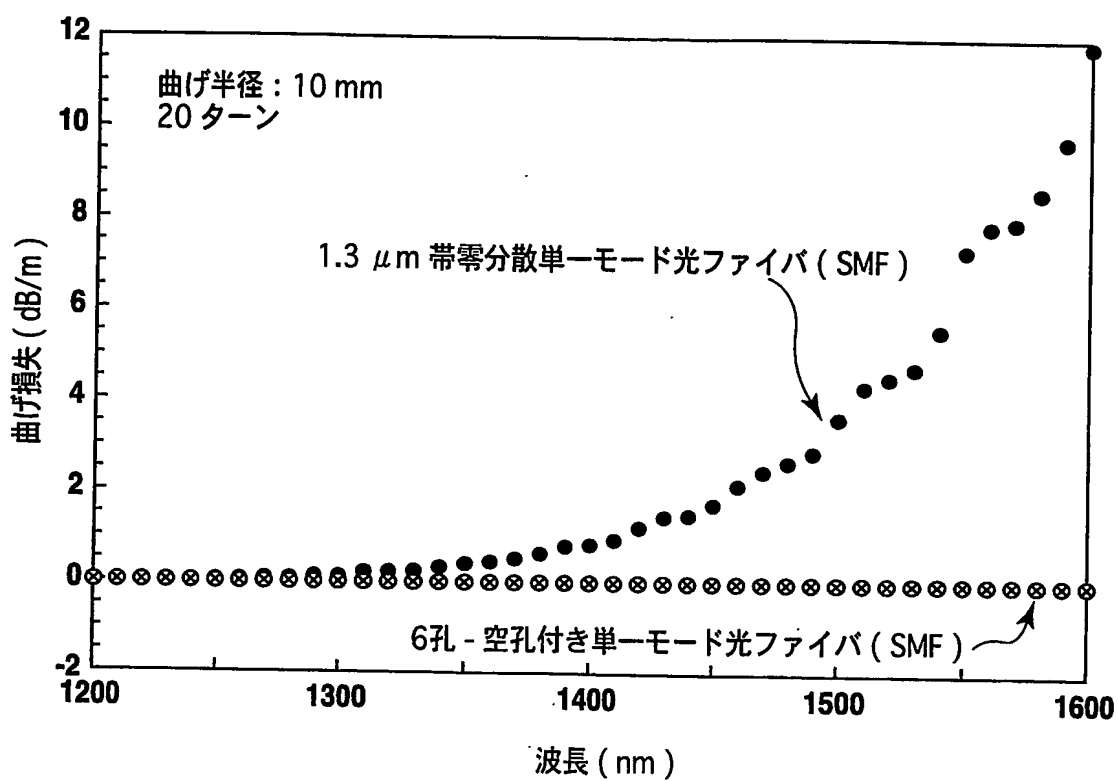


FIG.7

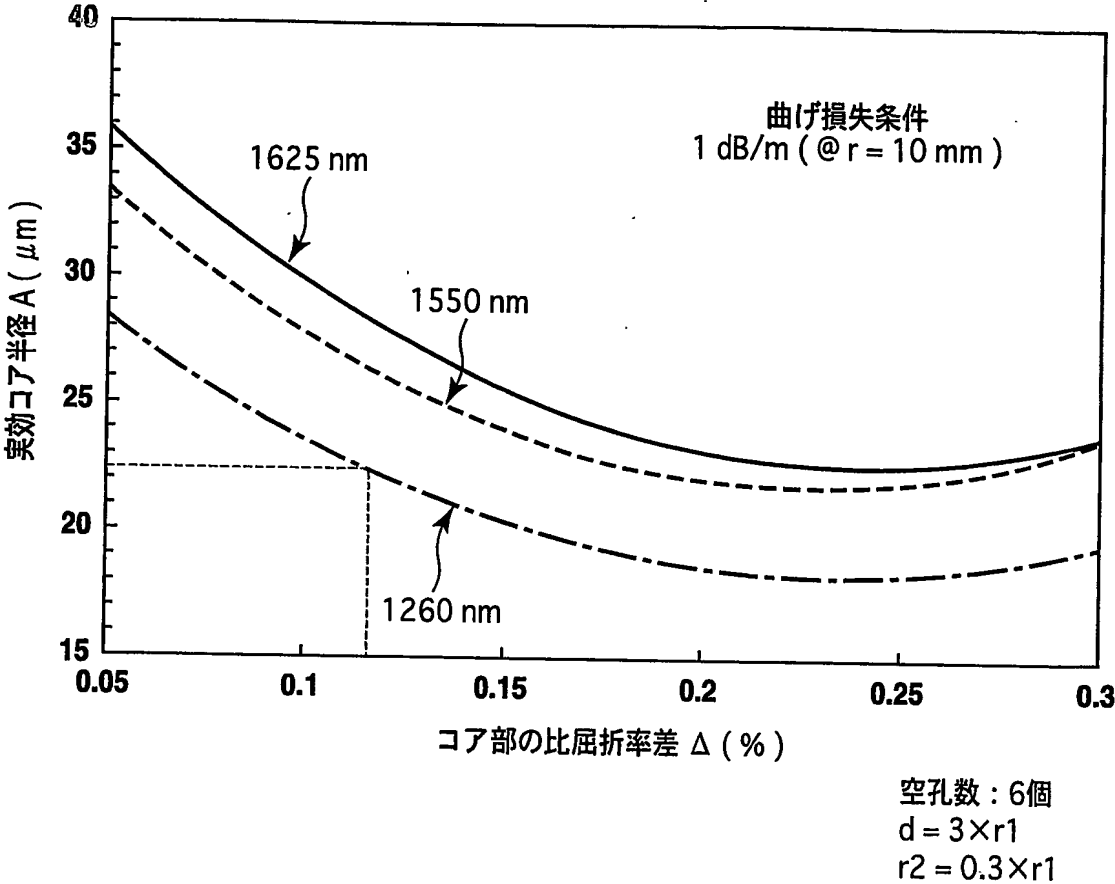


FIG.8

9/10

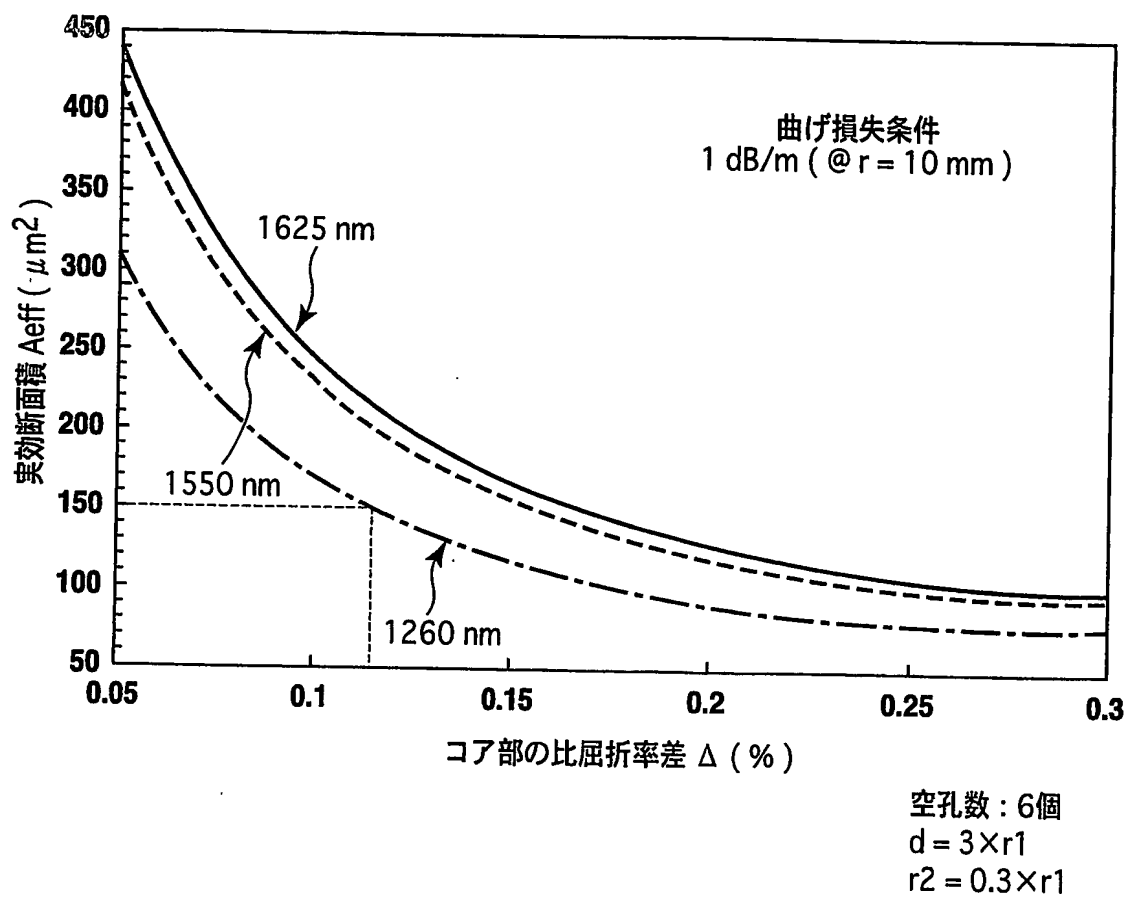


FIG.9

10/10

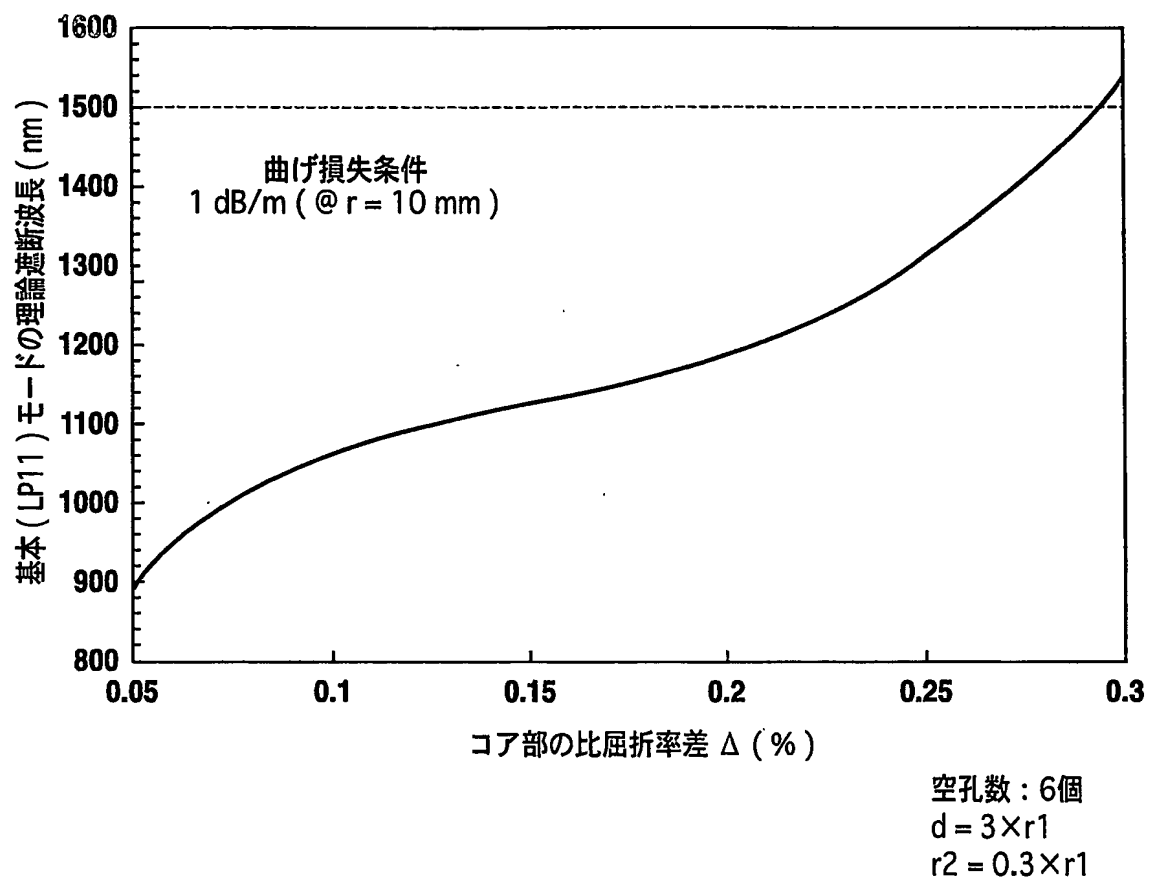


FIG.10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004504

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B6/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B6/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JOIS (JSTPLUS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Ken SHU et al., 'Photonic Kessho Fiber no Teinai, Birunai Haisen heno Tekiyo ni Kansuru Kento', The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, 23 January, 2003 (23.01.03), Vol.102, No.581 (PS 2002 84-98), pages 41 to 46	1 2-4
X Y	Ken SHU et al., 'Kuko Tsuki Hikari Fiber no Mage Tokusei ni Kansuru Kento', The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Taikai Koen Ronbunshu, 03 March, 2003 (03.03.03), Tsushin 2, page 632 (B-13-17)	1 2-4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 June, 2004 (10.06.04)Date of mailing of the international search report
29 June, 2004 (29.06.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004504

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	HASEGAWA, T. et al., Novel hole-assisted lightguide fiber exhibiting large anomalous dispersion and low loss below 1 dB/km., In: Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001. (OFC 2001), March, 2001, Vol.4, pages PD5-1-PD5-3	2
Y	Takeyoshi HASEGAWA, 'Photonic Kessho Fiber Oyobi Holey Fiber no Kaihatsu Doko', The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, 14 December, 2001 (14.12.01), Vol.101, No.504 (OPE2001 104-111), pages 13 to 18	2
Y	Hei YO et al., 'Holey Fiber no Jitsuyoka ni Kansuru-Kento', The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu kenkyu Hokoku 23 January, 2003 (23.01.03), Vol.102, No.581 (PS2002 84-98), pages 47 to 50	3
Y	JP 2000-356719 A (Lucent Technologies Inc.), 26 December, 2000 (26.12.00), Par. Nos. [0011], [0025]; Figs. 1, 2 & US 6097870 A & EP 1054273 A2	4
A	EGGLETON, B. J. et al., Cladding-Mode-Resonances in Air-Silica Microstructure Optical Fibers., In: JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, August, 2000, Vol.18, No.8, pages 1084 to 1100	1-4
A	HASEGAWA, T. et al., Modeling and design optimization of hole-assisted lightguide fiber by full-vector finite element method. In: 27th European Conference on Optical Communication (ECOC '01), 30 September, - 04 October, 2001 (04.10.01), Vol.3, pages 324 to 325	1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS(JSTPLUS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	周健ほか、「フォトリソニック結晶ファイバの宅内、ビル内配線への適用に関する検討」、電子情報通信学会技術研究報告、2003. 01. 23、VOL. 102、NO. 581 (PS2002 84-98)、PAGE. 41-46	1 2-4
X Y	周健ほか、「空孔付き光ファイバの曲げ特性に関する検討」、電子情報通信学会大会講演論文集、2003. 03. 03、通信2、PAGE. 632 (B-13-17)	1 2-4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10. 06. 04

国際調査報告の発送日

29. 6. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高 芳徳

2K 3103

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	HASEGAWA, T. et al., Novel hole-assisted lightguide fiber exhibiting large anomalous dispersion and low loss below 1 dB/km. In: Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001. (OFC 2001), March 2001, Volume 4, Pages. PD5-1 - PD5-3	2
Y	長谷川健美、「フットニック結晶ファイバおよびホーリーファイバの開発動向」、電子情報通信学会技術研究報告、2001. 12. 14、VOL. 101、NO. 504 (OPE 2001 104-111)、PAGE. 13-18	2
Y	姚兵ほか、「ホーリーファイバの実用化に関する一検討」、電子情報通信学会技術研究報告、2003. 01. 23、VOL. 102、NO. 581 (PS2002 84-98)、PAGE. 47-50	3
Y	JP 2000-356719 A (ルーセント テクノロジーズ インコーポレイテッド) 2000. 12. 26 段落11, 25、図1, 2 & US 6097870 A & EP 1054273 A2	4
A	EGGLETON, B. J. et al., Cladding-Mode-Resonances in Air-Silica Microstructure Optical Fibers. In: JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, AUGUST 2000, VOL. 18, NO. 8, PAGE. 1084-1100	1-4
A	HASEGAWA, T. et al., Modeling and design optimization of hole-assisted lightguide fiber by full-vector finite element method. In: 27th European Conference on Optical Communication (ECOC '01), 30 September - 4 October 2001, Volume 3, Page. 324 - 325	1-4